

Vibration-free gas refrigerating machine according to the Stirling principle

Patent number: DE3836959
Publication date: 1990-05-03
Inventor:
Applicant: DONNER BERND (DE)
Classification:
- **International:** F25B9/14
- **European:** F25B9/14
Application number: DE19883836959 19881030
Priority number(s): DE19883836959 19881030

Report a data error here

Abstract of DE3836959

Vibration-free gas refrigerating machine according to the Stirling principle, two identical machines, the pistons of which are arranged on the same geometrical axis, being operated in such a manner that their working cycles are offset temporally in relation to one another by half a cycle and consequently the mechanical vibration generated by each of the two machines being neutralised in its effect. The drive of the two gas refrigerating machines is carried out in each case by an electronically switched tandem linear drive, as a result of which only mechanical and dynamic moments arise in a single geometrical axis in the entire apparatus, which moments are neutralised at any time as a result of their phase position of 180@ and their equal amounts. The four pistons of the two refrigerating machines are arranged coaxially and point in one direction so that the effect of both cold places is increased. The apparatus according to the invention is, in its preferred embodiment, always an at least two-stage gas refrigerating machine.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 38 36 959 A 1

⑯ Int. Cl. 5:
F25B 9/14

⑯ Aktenzeichen: P 38 36 959.1
⑯ Anmeldetag: 30. 10. 88
⑯ Offenlegungstag: 3. 5. 90

DE 38 36 959 A 1

⑯ Anmelder:

Donner, Bernd, 6600 Saarbrücken, DE

⑯ Erfinder:

Erfinder wird später genannt werden

⑯ Vibrationsfreie Gaskältemaschine nach dem Stirling-Prinzip

Vibrationsfreie Gaskältemaschine nach dem Stirling-Prinzip, wobei zwei gleichartige Maschinen, deren Kolben auf der gleichen geometrischen Achse angeordnet sind, so betrieben werden, daß ihre Arbeitszyklen zeitlich um einen halben Zyklus gegeneinander versetzt sind und sich somit, die von jeder der beiden Maschinen erzeugte mechanische Vibration in ihrer Wirkung aufhebt.

Der Antrieb der beiden Gaskältemaschinen erfolgt je durch einen elektronisch kommutierten Tandemlinearantrieb, wodurch in der gesamten Apparatur nur mechanische und dynamische Momente in einer einzigen geometrischen Achse auftreten, die sich aufgrund ihrer Phasenlage von 180° und ihren gleichen Beträgen zu jedem Zeitpunkt aufheben.

Die vier Kolben der beiden Kältemaschinen sind koaxial angeordnet und weisen in eine Richtung, so daß sich die Wirkung beider Kaltstellen verstärkt.

Die erfindungsgemäße Apparatur ist in ihrer bevorzugten Ausführung stets eine mindestens zweistufige Gaskältemaschine.

DE 38 36 959 A 1

Beschreibung

Allen Gaskältemaschinen ist gemeinsam, daß ihr Funktionsprinzip darin besteht, ein geeignetes Gas, beispielsweise Helium, zu entspannen und den hierbei auftretenden physikalischen Effekt der Abkühlung des betreffenden Gases auszunutzen, um dem Kühlgut Wärme zu entziehen und es somit herab bis auf sehr tiefe Temperaturen abzukühlen.

Es kann prinzipiell unterschieden werden zwischen einerseits den offenen Gaskältemaschinen, z. B. Joule-Thomson-Kühler, wo ein unter Druck stehendes Gas über einen Wärmetauscher und ein Ventil entspannt wird und an einer definierten Stelle im Bereich des Ventiles, an der das Druckgefälle am größten ist, Temperaturen bis herab zum Siedepunkt des jeweiligen Gases erzeugt werden und andererseits den geschlossenen regenerativen Kühlsystemen, die nach dem Stirling-Prinzip arbeiten und bei denen immer dasselbe Gas am Abkühlungsprozeß beteiligt ist und es nach der Entspannung von der Kaltstelle des Kühlsystems weggeführt wird, damit es im Kompressor erneut verdichtet werden kann und somit ein thermodynamischer Kreisprozeß gebildet wird.

Zu diesen sogenannten regenerativen Gaskältemaschinen gehört die erfindungsgemäße Apparatur.

Probleme gab es in der Vergangenheit immer wieder mit der negativen Begleiterscheinung der durch die pulsierenden Bewegungen der Kolben einhergehenden beobachtlichen Vibrationen, welche der Einsatz dieses Kühlprinzips bei vielen Anwendungen unmöglich macht bzw. in erheblichem Maße erschwert, wie z. B. bei mikrofonieempfindlichen Detektoren oder mechanisch hochempfindlichen Bauteilen von Meßapparaturen etc. Es wurden daher schon viele Anstrengungen unternommen, um diese stets unerwünschten Vibrationen zu unterdrücken, wie z. B. durch Antrieb der Kolben über ein Rhombengetriebe dessen beide Kurbelwellen Ausgleichsgewichte tragen. Oder die diametrale Anordnung zweier identischer Gaskältemaschinen. Diese konstruktiven Maßnahmen führen jedoch nicht zum Ergebnis der völligen Vibrationsfreiheit, weil die Primärenergie, mit der die Maschinen angetrieben werden, von einer rotierenden Welle geliefert wird und das mechanische Drehmoment aufgrund der Kompressions- und Entspannungsvorgänge in den Zylindern stark pulsiert und somit der dynamische Linearimpuls des Gesamtsystems zu einem großen Teil in einen Drehimpuls der Kurbelwelle, der Antriebswelle und des treibenden Motors (meistens E-Motor) umgewandelt wird.

Die Ausführungsvariante der diametralen Anordnung zweier identischer Maschinen hat zusätzlich noch den Nachteil, daß zwei örtlich weit voneinander entfernte Kaltstellen entstehen und somit eine anwendungsgerechte Nutzung nicht sinnvoll möglich ist. Es ist dem Anmelder auch nicht bekannt, daß eine derartige Maschine je gebaut und angeboten wurde.

Ferner ist bekannt, daß eine Stirling-Gaskältemaschine von Philips schon mit elektrischen Linearmotoren ausgestattet wurde, jedoch ist diese, wie alle anderen, mit den gleichen Nachteilen hinsichtlich der erzeugten Vibration behaftet, weil die axialen Beschleunigungs Kräfte der beiden im Phasenwinkel von ca. 90° arbeitenden Kolben nicht entsprechend ihrem Betrag und ihrem zeitlichen Verlauf kompensiert werden, wie dies bei der erfindungsgemäßen Apparatur der Fall ist.

Ziel der Erfindung ist es, die Vorteile der nach dem Stirling-Prinzip arbeitenden regenerativen Gaskältema-

schinen zu verbinden mit einer konstruktiven Anordnung, welche die von ihnen erzeugte mechanische Vibration wirksam kompensiert.

Gaskältemaschinen, z. T. in Miniaturausführung, werden benötigt, um die vielfältigsten Aufgaben der Meßtechnik zu bewältigen. Sie werden bereits seit Jahrzehnten zur Kühlung der verschiedenartigsten Detektoren für physikalische Größen auf ihre optimalen Betriebstemperaturen, die oft unter 100°K liegen eingesetzt.

Bei Anwendungen, wo die elektromagnetischen Störfelder eines elektrischen Linearmotors nicht mehr tolerierbar sind, wie z. B. der Messung der von Organismen erzeugten Magnetfelder mit SQUIDs, wird die erfindungsgemäße Apparatur vorzugsweise mit pneumatischen oder hydraulischen Linearmotoren ausgestattet, welche keine störenden Magnetfelder erzeugen und über entsprechende Schlauch- oder Rohrleitungen gespeist werden.

Der Hauptvorteil der erfindungsgemäßen Gaskältemaschine besteht darin, daß sie vibrationsfrei arbeitet. Dies wird erreicht, indem die Linearbewegung der Kolben nicht mehr über den Umweg der Drehbewegung einer Kurbelwelle, sondern direkt von den Linearmotoren erzeugt wird. Es kann sich somit auch kein dynamischer Impuls in der geradlinigen Bewegungssachse der Kolben in einen Drehimpuls auf eine drehende Welle überlagern, wie es bei den durch eine Kurbelwelle angetriebenen Maschinen der Fall ist. Die Vektoren der dynamischen Impulse der Kompressionskolben bzw. der Plungerkolben und der jeweils mit ihnen verbundenen Läufer der Linearmotoren der erfindungsgemäßen Gaskältemaschine heben sich zu jeder Zeit genau auf. Vibrationsfreiheit ist das Resultat und es eröffnet sich ein breites Anwendungsgebiet, wo bisher fast ausschließlich Joule-Thomson- oder Flüssigstickstoff-Kühlsysteme zum Einsatz gelangten.

Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, daß die Kühlwirkung der beiden Gaskältemaschinen, aus denen die erfindungsgemäße Apparatur besteht, verstärkt wird, durch die rohrförmig ausgebildeten (außer Plungerkolben (13), sein Querschnitt ist kreisförmig) und ineinander geschachtelten Kolben, weil bei dieser Anordnung der Kolben ein zweistufiger Kühler gebildet wird.

Die gesamte Apparatur ist von einem Gehäuse (8) umgeben, vorzugsweise aus Edelstahl gefertigt, das sie hermetisch dicht umschließt. Es enthält das Arbeitsgas, vorzugsweise unter Überdruck stehendes Helium. Hieraus ergibt sich der Vorteil, daß die erfindungsgemäße Gaskältemaschine während ihrer gesamten Lebensdauer nicht gewartet werden muß.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Kühlers besteht darin, daß sich die Kolben aufgrund ihrer ineinander geschachtelten mechanisch selbst führen und lediglich nur noch am Ende und ggf. zwischen den einzelnen Linearmotoren je ein Linearlager (5) angebracht werden muß.

Auf die Lebensdauer der erfindungsgemäßen Apparatur wirkt sich ferner sehr positiv aus, daß weder die Kolben noch die vier Linearmotoren nennenswerte Radialkräfte erzeugen und damit auch die Flächenbelastung und die Reibungskräfte der Linearlager entsprechend gering sind. Insbesondere die aus den praktisch fehlenden Radial-Kräften der Kolben resultierende geringere Reibungswärme wirkt sich am stärksten an der kältesten Stelle der erfindungsgemäßen Gaskältemaschine positiv auf den Gesamtwirkungsgrad aus, weil neben den geringeren Reibungsverlusten des Antriebs auch weniger Reibungswärme erzeugt wird, welche die

Kaltstellen (10) und (14) erwärmt und abgeführt werden muß.

Dies wirkt sich sowohl in der maximalen Kühlleistung bei einer konstanten Temperatur, als auch in der unteren erreichbaren Grenztemperatur positiv aus.

Die Aufgabe, eine vibrationsfreie, nach dem Stirling-Prinzip arbeitende Gaskältemaschine zu erstellen, wurde erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zwei in bezug auf die von ihnen erzeugten dynamischen Momente gleichartige Maschinen, deren Schwerpunkte ihrer bewegten Massen sich nur auf einer einzigen Geraden bewegen und deren beide Plungerkolben (13) und (15) und beide Kompressionskolben (16) und (18) durch die Läufer (1), (2), (3) und (4) der vier Linearmotoren jeweils stets in entgegengesetzter Richtung (180°) bewegt werden.

Eine bevorzugte Ausführung ist in Zeichnung 1 dargestellt. Die durch den Expansionsraum (14) der zweiten Maschine dem Kühlgut entzogene Wärme wird durch das in ihm befindliche Arbeitsgas bei Vorwärtsbewegung des Plungerkolbens (13) in den Kompressionsraum (12) verdrängt. Durch die darauffolgende Vorwärtsbewegung des Kompressionskolbens (16) und des darauf angebrachten Wärmetauscher (11) der zweiten Maschine wird das Arbeitsgas komprimiert und seine Temperatur erhöht sich, wodurch die im Arbeitsgas gespeicherte Wärmeenergie vom Kompressionsraum (12) über den Wärmetauscher (11) zum Expansionsraum (10) der ersten Maschine fließen kann, weil zwischen ihnen zu diesem Zeitpunkt eine positive Temperaturdifferenz besteht.

Nachfolgend bewegt sich der Plungerkolben (13) wieder zurück und entspannt abermals das Arbeitsgas im Expansionsraum (14). Dieser Vorgang läuft analog mit dem Plungerkolben (15), der das Arbeitsgas im Expansionsraum (10) der ersten Maschine entspannt und dem Kompressionskolben (18), der das Arbeitsgas im Kompressionsraum (17) verdichtet und seine Temperatur derart erhöht, daß die Wärmeenergie letztlich über den Wärmetauscher (9) an die Umgebung abgegeben werden kann, mit dem wesentlichen Unterschied, daß der Arbeitszyklus eines jeden der beiden Kolben der ersten Maschine zeitlich zu dem Arbeitszyklus des entsprechenden Kolbens der zweiten Maschine um einen halben Zyklus (180°) verschoben ist.

In der bevorzugten Ausführung der erfindungsgemäßen Gaskältemaschine sind die vier elektrisch betriebenen Linearmotoren rotationssymmetrisch und identisch aufgebaut. Sie bestehen aus zwei im Gegentakt arbeitenden, mittels Permanentmagneten (6) vormagnetisierten und durch Weicheisenpolschuhe (19) geführten magnetischen Kreisen, die durch die rohrförmigen Weicheisenjoche, welche die Läufer (1), (2), (3) und (4) bilden, geschlossen werden. In jeder der beiden ringförmigen Lücken der einzelnen Statore befindet sich jeweils eine Spule (7), wobei die in jedem Stator befindlichen beiden Spulen invers zueinander vom Erregungsstrom durchflossen werden. Dies geschieht entweder durch Umpolen oder Umkehrung des Wicklungssinnes einer der beiden Spulen. Die zu den Läufern (1) und (3) der Kompressionskolben bzw. den Läufern (2) und (4) der Plungerkolben gehörigen Statorspulen (7) werden vom Erregungsstrom so durchflossen, daß ihre Bewegung jeweils stets in entgegengesetzter Richtung erfolgt.

Patentansprüche

1. Die Erfindung betrifft eine nach dem Stirling-

Prinzip arbeitende vibrationsfreie Gaskältemaschine, gekennzeichnet dadurch, daß die je zwei Kompressions- und je zwei Plungerkolben von zwei gleichartigen Gaskältemaschinen koaxial, d. h. die Kolben sind außer dem Plungerkolben (13) der zweiten Maschine rohrförmig ausgebildet, auf einer geometrischen Achse so angeordnet sind, daß die beiden Kaltstellen (10) (14) (Expansionsräume) jeder einzelnen Gaskältemaschine in die gleiche Richtung weisen und die Kaltstelle (10) der ersten Maschine mit der heißen Stelle (12) (Kompressionsraum) der zweiten Maschine thermisch über den Wärmetauscher (11) gekoppelt ist.

Jeder einzelne Kompressions- bzw. Plungerkolben wird in einer einzigen geometrischen Achse von je einem Linearmotor so angetrieben, daß die Bewegung der beiden Kompressionskolben und die der beiden Plungerkolben jeweils stets entgegengesetzt erfolgt. Damit die von jedem Kompressions- bzw. Plungerkolbenpaar erzeugte dynamische Gesamtimpuls gleich null wird, muß die Bedingung Masse mal Weg des Kompressionskolbens der Maschine (1) gleich dem Produkt der Masse mal dem Weg des Kompressionskolbens der Maschine 2 erfüllt sein. Das gleiche gilt für das Plungerkolbenpaar.

Vorzugsweise sind die Massen und die Querschnittsflächen jedes Kompressions- bzw. Plungerkolbenpaars gleich groß. Dies hat den Vorteil, daß die vier Linearmotoren ebenfalls gleich groß gebaut werden können.

Die vier Linearmotoren können beispielsweise elektrisch, mechanisch, pneumatisch, hydraulisch, thermodynamisch etc. angetrieben werden. In einer bevorzugten Ausführung der erfindungsgemäßen Apparatur kommt ein permanentmagnetisch vormagnetisierter, elektronisch kommutierter Elektrolinearantrieb zur Anwendung.

Die erfindungsgemäße Apparatur ist mit Gas gefüllt, vorzugsweise mit unter Überdruck stehendem Helium.

2. Gaskältemaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vier Linearmotoren mittels zweier sinusförmiger Wechselspannungen betrieben werden, wobei die erforderliche Phasenverschiebung beider Spannungen zueinander von ca. 90° durch einen Kondensator herbeigeführt wird. Die notwendige Phasenverschiebung der die Kompressions- bzw. Plungerkolbenpaare antreibenden Linearmotoren von 180° wird vorzugsweise durch Verpolen jeweils eines Linearmotors eines jeden Kolbenpaars erreicht, so daß sich die beiden Motoren eines Paares stets in entgegengesetzter Richtung bewegen.

3. Gaskältemaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vier Linearmotoren elektrisch kommutiert sind und der Erregungsstrom im zeitlichen Verlauf frei definierbar ist und somit die Bewegungsabläufe der einzelnen Kolben hinsichtlich eines beliebigen Parameters wie z. B. erreichbare untere Grenztemperatur, Wirkungsgrad, Vibration durch Fertigungstoleranzen hinsichtlich der bewegten Massen etc. durch gezieltes Verändern der Ansteuerung der Linearmotoren positiv zu beeinflussen bzw. zu minimieren ist.

Eine bevorzugte Möglichkeit der Realisierung besteht in der Signalerzeugung durch zeitsynchrones Auslesen der den Spannungswerten proportiona-

len Zahlenwerte aus zwei elektronischen Speicherbausteinen (z. B. EPROM's) und nachfolgender Umwandlung der den beiden Zahlenwerten entsprechenden Spannungen mit zwei Digital-Analog-Wandlern und anschließender Signalverstärkung durch Leistungsendstufen, welche jeweils mit dem das entsprechende Kompressions- bzw. Plungerkolbenpaar antreibende Linearmotorpaar verbunden sind. Die notwendige Phasenverschiebung von 180° zwischen den die Kompressions- bzw. Plungerkolbenpaaren antreibenden Linearmotoren wird durch Verpolen jeweils eines Linearmotors eines Kolbenpaars erreicht, so daß sich die beiden Motoren eines Paares stets in entgegengesetzter Richtung bewegen.

5

4. Gaskältemaschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich an der Kaltstelle (Expansionsraum) der Maschine (1) ein Temperaturfühler befindet, der mit der Ansteuerelektronik derart verbunden ist, daß die Temperatur an dieser Kaltstelle auf einen vorgegebenen Sollwert geregelt wird. Vorzugsweise findet hierbei ein Platin-Widerstandsthermometer (Pt 100) Verwendung.

10

5. Gaskältemaschine nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich an jedem Linearmotor ein Wegmeßsystem befindet, das jeweils die Position des bewegten Teiles des betreffenden Linearmotors in Form einer elektrischen Spannung wiedergibt, vorzugsweise ausgeführt, indem der, die beiden Spulen des Linearmotors beaufschlagenden Spannung, eine hochfrequente gleichförmige und amplitudenstabile Sinusspannung überlagert wird und die wegproportionale Meßspannung durch die wechselstrommäßige Brückenschaltung der beiden Erregerspulen des Linearmotors mit zwei gleichgroßen Hilfswiderständen abgegriffen wird. Diese Ausführungsform des Wegsensors bietet den großen Vorteil, daß keine zusätzlichen mechanischen oder elektromechanischen Bauteile an der erfindungsgemäßen Gaskältemaschine notwendig sind.

15

6. Gaskältemaschine nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Plungerkolben (15) und der Kompressionskolben (18) entfallen und dafür die ihnen entsprechende Masse auf den Läufern (1) und (2) der betreffenden Linearmotoren angebracht wird. Man erhält somit eine nunmehr noch einstufige, jedoch auch vibrationsfreie Gaskältemaschine nach dem Stirling-Prinzip.

20

30

35

40

45

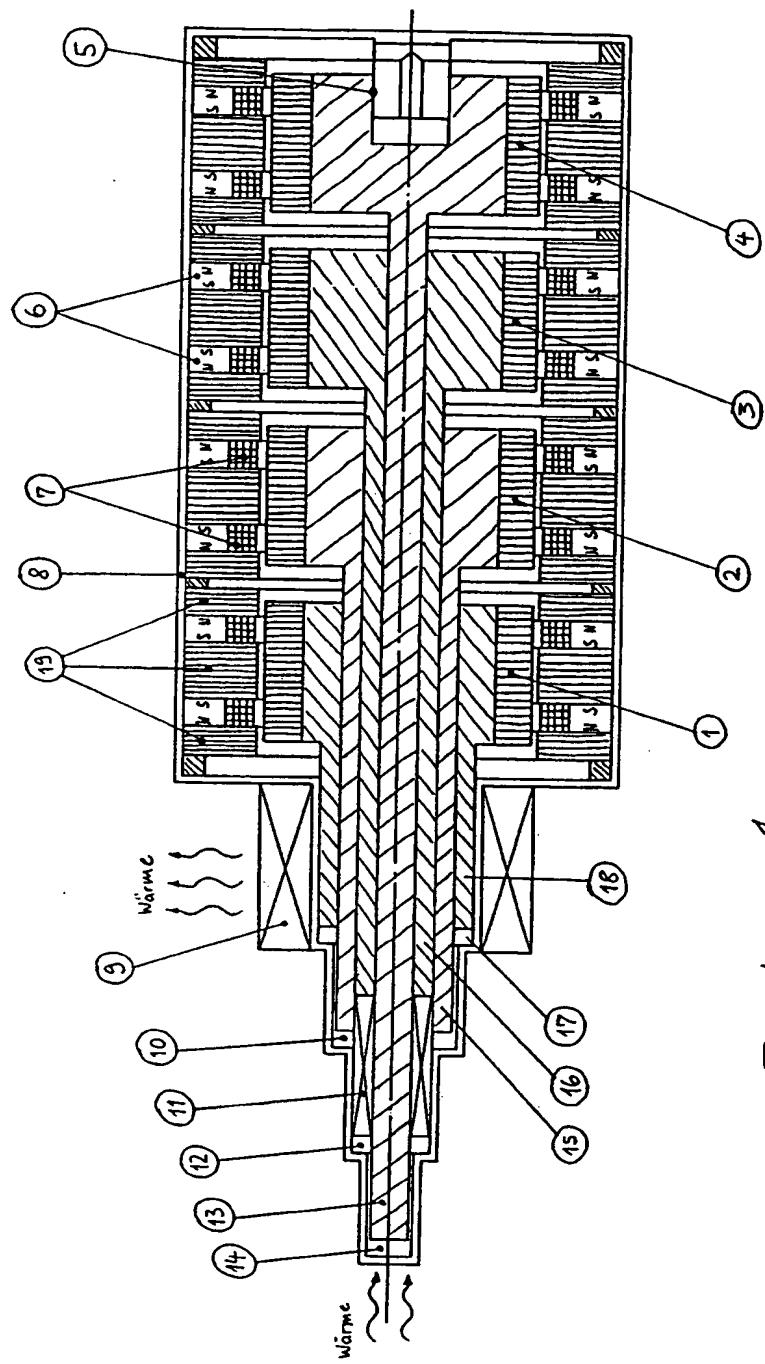
50

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65



Zeichnung 1

— Leerseite —